



2004 28 OCT 2004

PCT

DE04/1643

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

103 33 729.6

**Anmeldetag:**

23. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:**

Patent-Treuhand-Gesellschaft für elektrische Glühlampen mbH, 81543 München/DE

**Bezeichnung:**

Vorschaltgerät für mindestens eine Hochdruckentladungslampe, Betriebsverfahren und Beleuchtungssystem für eine Hochdruckentladungslampe

**IPC:**

H 05 B 41/288

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. August 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hoß

# **Patent-Treuhand-Gesellschaft für elektrische Glühlampen mbH., München**

## **Vorschaltgerät für mindestens eine Hochdruckentladungslampe, Betriebsverfahren und Beleuchtungssystem für eine Hochdruckentladungslampe**

Die Erfindung betrifft ein Vorschaltgerät für mindestens eine Hochdruckentladungslampe gemäß des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1 und ein Betriebsverfahren für mindestens eine Hochdruckentladungslampe sowie ein Beleuchtungssystem.

### **I. Stand der Technik**

Ein derartiges Vorschaltgerät ist beispielsweise in der europäischen Offenlegungsschrift EP 0 386 990 A2 offenbart. Diese Schrift beschreibt ein Vorschaltgerät, das den Betrieb einer Metallhalogenid-Hochdruckentladungslampe mit einer frequenzmodulierten Spannung ermöglicht, die unter anderem auch im wesentlichen sinusförmig ausgebildet sein kann und deren Trägerfrequenz im Bereich von 20 Kilohertz bis 80 Kilohertz liegt. Das Vorschaltgerät ist zweistufig ausgebildet. Es besteht im wesentlichen aus einem Hochsetzsteller mit einem nachgeschalteten Inverter, der die Lampe mit einem Wechselstrom beaufschlagt. Die Zündvorrichtung besteht im wesentlichen aus einer aus mehreren Dioden und Kondensatoren aufgebauten Kaskadenschaltung zur Spannungsvervielfachung.

### **II. Darstellung der Erfindung**

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Vorschaltgerät zum Betrieb mindestens einer Hochdruckentladungslampe bereitzustellen, das einen einfacheren Aufbau besitzt. Außerdem ist es die Aufgabe der Erfindung ein vereinfachtes Betriebsverfahren für eine Hochdruckentladungslampe anzugeben. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein verbessertes Beleuchtungssystem bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 bzw. 12 bzw. 19 gelöst. Besonders vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen beschrieben.

Das erfindungsgemäße Vorschaltgerät zum Betrieb mindestens einer Hochdruckentladungslampe besitzt einen Spannungswandler zum Erzeugen eines im wesentlichen sinusförmigen Wechselstroms, der erfindungsgemäß als Klasse-E-Konverter ausgebildet ist. Unter einem Klasse-E-Konverter wird hier ein Konverter gemäß der Publikation „Class E - A New Class of High-Efficiency Tuned Single-Ended Switching Power Amplifiers“ von Nathan O. Sokal und Alan D. Sokal in IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-10, No. 3, Juni 1975 verstanden. Das Grundschema eines solchen Klasse-E-Konverters ist in Figur 20 abgebildet. Der Aufbau und die Funktion des Klasse-E-Konverters, insbesondere für den sogenannten nicht-optimalen Betrieb, das heißt, mit einem nicht optimierten Lastwiderstand, ist auf den Seiten 271 bis 273 des Buches „Power electronics: converters, applications, and design“ der Autoren Ned Mohan, Tore M. Undeland und William P. Robbins, zweite Auflage 1995, John Wiley & Sons, Inc. beschrieben.

Mittels des Klasse-E-Konverters kann auf einfache Weise ein weitgehend sinusförmiger Wechselstrom für die mindestens eine Hochdruckentladungslampe generiert werden. Es werden dadurch keine aufwändigen Brückenschaltungen mit zwei oder mehr elektronischen Schaltern und deren Ansteuerung benötigt. Der Betrieb der mindestens einen Hochdruckentladungslampe mit einem im wesentlichen sinusförmigen Wechselstrom hat den Vorteil, dass dieser keinen oder nur einen sehr geringen Oberwellenanteil aufweist und daher keine akustischen Resonanzen in dem Entladungsmedium der Hochdruckentladungslampe angeregt werden, wenn die Frequenz des Wechselstroms außerhalb der akustischen Resonanzen liegt. Aufgrund des sehr geringen Oberwellenanteils des weitgehend sinusförmigen Wechselstroms ist der Aufwand bei der Funkentstörung des Vorschaltgerätes ebenfalls gering. Der sinusförmige Lampenstrom ermöglicht einen stabilen, insbesondere flickerfreien Lampenbetrieb. Der Betrieb der Hochdruckentladungslampe mit einem Wechselstrom hoher Frequenz von vorzugsweise größer als 100 Kilohertz erlaubt eine Miniaturisierung des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes, so dass dieses im Lampensockel untergebracht werden kann. Bei sehr hohen Betriebsfrequenzen ist allerdings die Zündung der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe problematisch, da die Induktivität des Zündtransformators in die Größenordnung der Lampenimpedanz liegt

und nicht mehr vernachlässigbar ist. Es ist bekannt, in einem solchen Fall die Zündung der Gasentladung mittels einer Impulszündvorrichtung über eine Hilfselektrode der Hochdruckentladungslampe vorzunehmen, wie zum Beispiel in der europäischen Offenlegungsschrift EP-A 0 868 833 offenbart. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes bildet die Induktivität der Sekundärwicklung des Zündtransformators kein parasitäres Element mehr, sondern ein funktionales Bestandteil des als Klasse-E-Konverter ausgebildeten Spannungswandlers und zwar nicht nur während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe, sondern während des gesamten Lampenbetriebs. Das erfindungsgemäße Vorschaltgerät eignet sich besonders gut zum Betrieb von Hochdruckentladungslampen geringer Leistung, wie beispielsweise von Hochdruckentladungslampen in Kraftfahrzeugscheinwerfern oder in Projektionsanwendungen, die elektrische Leistungen zwischen 25 Watt und 35 Watt aufweisen, und insbesondere von Hochdruckentladungslampen vergleichsweise geringer Brennspannung von kleiner oder gleich 100 Volt, oder sogar kleiner oder gleich 50 Volt, wie bei quecksilberfreien Metallhalogenid-Hochdruckentladungslampen für Kraftfahrzeugscheinwerfer. Die Vorschaltgeräte dieser Lampen werden an der Bordnetzspannung des Kraftfahrzeugs betrieben. Die Spannungsbelastung des steuerbaren Schalters des erfindungsgemäß als Klasse-E-Konverter ausgebildeten Spannungswandlers kann beim Betrieb der vorgenannten Hochdruckentladungslampen mit geringen Brennspannung entsprechend gering gehalten werden, obwohl sie bei einem Tastverhältnis von 0,5 des steuerbaren Schalters ca. den 3,6-fachen Wert der Eingangsspannung des Spannungswandlers erreicht.

Der erfindungsgemäß als Klasse-E-Konverter ausgebildete Spannungswandler des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes wird mit einer Gleichspannung versorgt und besitzt vorteilhaft die nachstehend beschriebenen Merkmale. Zwischen die Gleichspannungseingänge dieses Spannungswandlers beziehungsweise zwischen seinem positiven Gleichspannungseingang und dem Massepotential sind eine Induktivität und die Schaltstrecke eines steuerbaren Schalters geschaltet. Antiparallel zu der Schaltstrecke dieses Schalters ist eine Diode angeordnet. Antiparallel heißt, dass die Diode gegenüber dem von der Gleichspannungsquelle am Gleichspannungseingang des Klasse-E-Konverters bereitgestellten Gleichstrom in Sperrrichtung geschaltet ist.

Parallel zu der Schaltstrecke des Schalters und auch zur Diode ist eine Kapazität angeordnet. Ein Parallelkreis zu der Kapazität ist als Serienresonanzkreis ausgebildet, an den die zu betreibende Last gekoppelt ist. Der Serienresonanzkreis besteht im einfachsten Fall aus einer Spule und einem Kondensator. Die vorgenannte Induktivität am Gleichspannungseingang des Spannungswandlers ist vorzugsweise so dimensioniert, dass sie als Konstantstromquelle arbeitet und der im geschlossenen Zustand über die Schaltstrecke des steuerbaren Schalters bzw. im geöffneten Zustand über die Kapazität fließende Strom sich aus einem Gleichstrom und einem sinusförmigen Wechselstrom, der von dem Serienresonanzkreis generiert wird, zusammensetzt. Der steuerbare Schalter wird vorzugsweise mit einer Taktfrequenz geschaltet, die größer als die Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises ist, um zu gewährleisten, dass an dem steuerbaren Schalter während der Schaltvorgänge keine Spannung anliegt und die Schaltverluste des Schalters entsprechend gering sind. Die antiparallel angeordnete Diode verhindert, dass sich über der Schaltstrecke des steuerbaren Schalters des Klasse-E-Konverters eine negative Spannung aufbaut.

Das erfindungsgemäße Vorschaltgerät umfasst vorzugsweise auch eine Zündvorrichtung zum Zünden der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe. Diese Zündvorrichtung kann in dem gleichen Gehäuse wie alle anderen Komponenten des Vorschaltgerätes oder aber räumlich getrennt, beispielsweise in dem Lampensockel der Hochdruckentladungslampe angeordnet sein. Um eine eigene Spannungsquelle für die Zündvorrichtung und zusätzliche Bauteile zu vermeiden, ist die Zündvorrichtung zu ihrer Spannungsversorgung vorteilhaft an eine Induktivität, vorzugsweise an die während des Lampenbetriebs als Konstantstromquelle arbeitende Induktivität, des Klasse-E-Konverters gekoppelt. Diese Induktivität des Klasse-E-Konverters ist zu diesem Zweck vorteilhaft als Spartransformator ausgebildet, insbesondere wenn eine hohe Versorgungsspannung für die Zündvorrichtung benötigt wird.

Gemäß der besonders bevorzugten Ausführungsbeispiele ist die Zündvorrichtung als Impulszündvorrichtung, in der Literatur oft auch als Überlagerungszündvorrichtung bezeichnet, ausgebildet. Die Impulszündvorrichtung besitzt einen kompakten Aufbau und kann daher problemlos in den Lampensockel der Hochdruckentladungslampe

- integriert werden. Außerdem lässt sich die Sekundärwicklung des Zündtransformators der Impulszündvorrichtung als Bestandteil des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters ausbilden. Die Induktivität der vorgenannten Sekundärwicklung wird somit auch für den Serienresonanzkreis des Klasse-E-Konverters ausgenutzt.
- 5 Die parallel zu der Schaltstrecke des steuerbaren Schalters geschaltete Kapazität des Klasse-E-Konverters und die Kapazität des Serienresonanzkreises halten die Zündspannungsimpulse von dem Schalter des Klasse-E-Konverters fern, weil diese näherungsweise für die Zündspannungsimpulse als Kurzschluss betrachtet werden können. Alternativ kann die Zündvorrichtung aber auch als Gleichspannungszündvor-
- 10 richtung oder als Resonanzzündvorrichtung ausgebildet werden. Die vorgenannte Gleichspannungszündvorrichtung ist vorteilhaft verwendbar für sehr hohe Betriebsfrequenzen des Klasse-E-Konverters und bietet ferner den Vorteil, dass sie während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe an die Kapazität des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters gekoppelt werden kann.
- 15 Die elektrischen Anschlüsse der mindestens einen Hochdruckentladungslampe können direkt in dem Serienresonanzkreis des Klasse-E-Konverters angeordnet sein oder aber mittels eines Transformators induktiv an den vorgenannten Serienresonanzkreis gekoppelt sein. Mittels dieses Transformators kann eine Impedanzanpassung der Hochdruckentladungslampe an den Klasse-E-Konverter vorgenommen und auch eine
- 20 galvanische Trennung zwischen der Hochdruckentladungslampe und dem Klasse-E-Konverter erreicht werden.
- Zur Gleichspannungsversorgung des erfindungsgemäß als Klasse-E-Konverter ausgebildeten Spannungswandlers kann eine beliebige Gleichspannungsquelle verwendet werden, beispielsweise im Falle einer Kraftfahrzeugscheinwerfer-Hochdruck-
- 25 entladungslampe auch die Batterie oder die Lichtmaschine eines Kraftfahrzeuges. Vorzugsweise ist dem als Klasse-E-Konverter ausgebildeten Spannungswandler aber ein Hochsetzsteller vorgeschaltet, um den Klasse-E-Konverter mit einer möglichst stabilen Eingangsgleichspannung zu versorgen und um über die Regelung der Eingangsgleichspannung des Klasse-E-Konverters die elektrische Leistungsaufnahme
- 30 der Hochdruckentladungslampe regeln zu können. Wird die Gleichspannungsversor-

gung des Klasse-E-Konverters beispielsweise durch Gleichrichtung aus der Netzwechselspannung gewonnen, kann anstelle eines Hochsetzstellers auch ein Tiefsetzsteller zum Stabilisieren der Versorgungsspannung des Klasse-E-Konverters verwendet werden. Während des Übergangs von der Zündphase in den stationären Betriebszustand der Hochdruckentladungslampe wird vorteilhaft über die Höhe der Versorgungsspannung des Klasse-E-Konverters die Leistungsaufnahme der Hochdruckentladungslampe geregelt, um die Ausbildung eines stabilen Entladungsbogens zu gewährleisten. Während der Übergangsphase verdampfen die Komponenten der ionisierbaren Füllung der Hochdruckentladungslampe. Um eine möglichst kurze Übergangsphase und eine möglichst sofortige Lichtemission zu gewährleisten, kann die Hochdruckentladungslampe während der Übergangsphase auf diese Weise mit deutlich erhöhter Leistung betrieben werden. Durch Verändern der Versorgungsspannung des Klasse-E-Konverters oder / und der Schaltfrequenz oder / und des Tastverhältnisses des Schaltmittels des Klasse-E-Konverters kann außerdem eine Anpassung des Klasse-E-Konverters an die sich während der unterschiedlichen Betriebsphasen ändernde Impedanz der Hochdruckentladungslampe erreicht werden.

Eine Leistungsregelung der Hochdruckentladungslampe ist auch über die Schaltfrequenz oder das Tastverhältnis des steuerbaren Schalters des Klasse-E-Konverters möglich. Die Schaltfrequenz und das Tastverhältnis sollten zur Vermeidung hoher Schaltverluste allerdings so gewählt werden, dass an dem steuerbaren Schalter des Klasse-E-Konverters während der Schaltvorgänge keine Spannung anliegt.

Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe wird der Schalter des Klasse-E-Konverters vorteilhaft derart geschaltet, dass an der Induktivität, die am Gleichspannungseingang angeordnet ist, eine resonanzüberhöhte Spannung bereitgestellt wird. Diese resonanzüberhöhte Spannung kann vorteilhaft zur Versorgung der Zündvorrichtung verwendet werden.

Das erfindungsgemäße Vorschaltgerät ermöglicht mit einfachen Mitteln die Erzeugung eines weitgehend sinusförmigen Lampenwechselstroms. Während des stationären Betriebszustandes der Hochdruckentladungslampe wird die Lampe mit einem im wesentlichen sinusförmigen Wechselstrom betrieben, dessen Frequenz geringfügig

oberhalb der Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters liegt. Die Bauteile des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters sind vorzugsweise derart auf die Geometrie des Entladungsgefäßes und den Abstand der Elektroden der Hochdruckentladungslampe abgestimmt, dass die Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters in einem Frequenzbereich liegt, der frei von akustischen Resonanzen der Hochdruckentladungslampe ist. Das heißt, dass die Resonanzfrequenz in einem Frequenzfenster liegt, das sich entweder oberhalb der akustischen Resonanzen befindet oder zwischen zwei benachbarten akustischen Resonanzen angeordnet ist. Dadurch ist gewährleistet, dass in der Hochdruckentladungslampe keine akustischen Resonanzen angeregt werden, weil die Schaltfrequenz des Klasse-E-Konverters während des stationären Lampenbetriebs geringfügig oberhalb der Resonanzfrequenz liegt. Dadurch ist auch eine Frequenzmodulation des Lampenstroms nicht unbedingt erforderlich. Um möglichst große Frequenzbereiche zu erhalten, die frei von akustischen Resonanzen sind, ist das Entladungsgefäß zumindest in dem Bereich der Gasentladung zylindrisch ausgebildet. Das Aspektverhältnis, das heißt, das Verhältnis von Elektrodenabstand und Innendurchmesser des zylindrischen Abschnitts des Entladungsgefäßes, ist vorzugsweise größer als 0,86 und besonders bevorzugt größer als 2. Dadurch wird die longitudinale akustische Resonanz zu einer tiefen Frequenz verschoben und es werden ausreichend breite Frequenzbereiche geschaffen, die frei von akustischen Resonanzen sind.

### III. Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

Nachstehend wird die Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 2 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 3 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des dritten Ausführungsbeispiels der Erfindung



- Figur 4 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des vierten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 5 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des fünften Ausführungsbeispiels der Erfindung
- 5 Figur 6 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des sechsten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 7 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des siebten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- 10 Figur 8 Das Steuersignal für den MOSFET und die Drain-Source-Spannung am MOSFET während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe für das in Figur 7 dargestellte Ausführungsbeispiel
- Figur 9 Das Steuersignal für den MOSFET, die Drain-Source-Spannung am MOSFET sowie den Lampenwechselstrom und den Spannungsabfall über der Hochdruckentladungslampe während des stationären Lampenbetriebs
- 15 für das in Figur 7 dargestellte Ausführungsbeispiel
- Figur 10 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des achten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 11 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des neunten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- 20 Figur 12 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des zehnten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 13 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des elften Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 14 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß
- 25 des zwölften Ausführungsbeispiels der Erfindung

- Figur 15 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des dreizehnten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 16 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des vierzehnten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- 5    Figur 17 Eine Schaltskizze der Schaltungsanordnung des Vorschaltgerätes gemäß des fünfzehnten Ausführungsbeispiels der Erfindung
- Figur 18 Eine Seitenansicht einer Hochdruckentladungslampe, die an dem erfindungsgemäßen Vorschaltgerät betrieben wird, in schematischer, teilweise geschnittener Darstellung
- 10    Figur 19 Eine Seitenansicht einer Hochdruckentladungslampe, die an dem erfindungsgemäßen Vorschaltgerät betrieben wird und die eine im Sockel integrierte Zündvorrichtung aufweist, in schematischer, teilweise geschnittener Darstellung
- Figur 20 Die Schaltskizze eines Klasse-E-Konverters (Stand der Technik)
- 15    In Figur 1 ist schematisch die Schaltskizze des Vorschaltgerätes gemäß des ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung dargestellt. Dieses Vorschaltgerät besitzt einen Gleichspannungseingang mit zwei Gleichspannungsanschlüssen, die an den Spannungsausgang einer Gleichspannungsquelle 100 angeschlossen sind. Der positive Gleichspannungsanschluss ist über eine Induktivität 101 und die Schaltstrecke eines steuerbaren Schalters 102 mit dem negativen Gleichspannungsanschluss bzw. mit dem schaltungsinternen Massepotential verbunden. Antiparallel zu der Schaltstrecke des Schalters 102 ist eine Diode 103 geschaltet. Parallel zu der Schaltstrecke des Schalters 102 und auch parallel zu der Diode 103 ist ein Kondensator 104 geschaltet. In einem Parallelkreis zu dem Kondensator 104 sind der Kondensator 105 und die
- 20    Sekundärwicklung 106b eines Transformators 106 angeordnet. Der Kondensator 105 und die Sekundärwicklung 106b bilden einen Serienresonanzkreis. In dem Serienresonanzkreis sind elektrische Anschlüsse für eine Hochdruckentladungslampe LP1 angeordnet, so dass bei angeschlossener Lampe LP1 ihre Entladungsstrecke seriell in
- 25

dem Serienresonanzkreis geschaltet ist. Zum Zünden der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe LP1 ist eine als Impulszündvorrichtung ausgebildete Zündvorrichtung 107 vorgesehen, die einen Zündtransformator 106 mit einer Primärwicklung 106a und einer Sekundärwicklung 106b aufweist. Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe wird an der mit der Sekundärwicklung 106b verbundenen Elektrode der Hochdruckentladungslampe die erforderliche Zündspannung bereitgestellt.

Das in Figur 2 abgebildete zweite Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes unterscheidet sich von dem ersten Ausführungsbeispiel dadurch, dass die Hochdruckentladungslampe LP2 nicht unmittelbar in den Serienresonanzkreis des Klasse-E-Konverters geschaltet ist, sondern über einen Transformator 208 an den vorgenannten Serienresonanzkreis gekoppelt ist. Der Transformator 208 mit Primärwicklung 208a und Sekundärwicklung 208b dient zur Impedanzanpassung der Lampe LP2 an den Klasse-E-Konverter und zur galvanischen Trennung der Lampe LP2 von dem Klasse-E-Konverter. Durch die Impedanzanpassung ist auch ein Betrieb von Hochdruckentladungslampen, die eine von der Versorgungsspannung des Klasse-E-Konverters stark abweichende Brennspannung besitzen, an dem Klasse-E-Konverter möglich. Die Anordnung und Funktion der Bauteile 200, 201, 202, 203, 204 und 205 entspricht der Anordnung und Funktion der Bauteile 100, 101, 102, 103, 104 und 105 des ersten Ausführungsbeispiels. Die Zündvorrichtung 207 ist ebenfalls als Impulszündvorrichtung ausgebildet. Sie besitzt einen Zündtransformator 206 mit einer Primärwicklung 206a und einer Sekundärwicklung 206b, wobei die Sekundärwicklung 206b zusammen mit der Hochdruckentladungslampe LP2 in dem Sekundärkreis des Transformators 208 geschaltet ist. Die mit der Sekundärwicklung 206b verbundene Elektrode der Hochdruckentladungslampe LP2 wird während der Zündphase mit Hochspannungsimpulsen beaufschlagt. Bei der Berechnung der Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters müssen das Übertragungsverhältnis des Transformators 208 und der Wert der Kapazität 205 sowie die Induktivität der Sekundärwicklung 206b des Zündtransformators 206 berücksichtigt werden.

Der Transformator 208 kann zur Impedanzanpassung auf unterschiedliche Weise in die Schaltung gemäß der Figur 1 eingefügt werden, um zum zweiten Ausführungsbeispiel zu gelangen. Beispielsweise kann die Primärwicklung 208a des Transformators 208 an dem Knotenpunkt zwischen der Kapazität 105 und der Sekundärwicklung 106b und dem Knotenpunkt zwischen der Kapazität 104 und der Hochdruckentladungslampe LP1 eingefügt werden, wie in Figur 2 dargestellt ist. Alternativ kann die Primärwicklung 208a des Transformators 208 aber auch an dem Knotenpunkt zwischen der Sekundärwicklung 106b und der Hochdruckentladungslampe LP1 und dem Knotenpunkt zwischen der Kapazität 104 und der Hochdruckentladungslampe LP1 eingefügt werden (ohne Abbildung). Im letzteren Fall kann der Transformator 208 zu einer Erhöhung der Zündspannung beitragen.

Das in Figur 3 dargestellte dritte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist weitgehend identisch zu dem ersten Ausführungsbeispiel. Insbesondere entsprechen die Anordnung und die Funktion der Bauteile 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 306a, 306b und LP3 der Anordnung und Funktion der entsprechenden Bauteile 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 106a, 106b und LP1 des ersten Ausführungsbeispiels. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Ausführungsbeispielen besteht in der Spannungsversorgung der Zündvorrichtung 307. Die als Impulszündvorrichtung ausgebildete Zündvorrichtung 307 wird von dem Klasse-E-Konverter mit Spannung versorgt. Zu diesem Zweck ist ein Spannungseingang der Zündvorrichtung 307 an den Knotenpunkt zwischen der Induktivität 301, dem steuerbaren Schalter 302 und Kondensator 304 angeschlossen und der andere Spannungseingang mit dem Massepotential bzw. mit dem negativen Gleichspannungseingang des Klasse-E-Konverters verbunden.

Das in Figur 4 abgebildete vierte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes unterscheidet sich von dem dritten Ausführungsbeispiel nur durch die Verwendung eines Spartransformators 401 anstelle der Induktivität 301. Der Spartransformator besitzt nur eine Wicklung mit zwei Wicklungsabschnitten 401a und 401b. Der erste Wicklungsabschnitt 401a ist in den Klasse-E-Konverter geschaltet und übt die gleiche Funktion wie die Induktivität 301 des dritten Ausführungsbei-

spiels aus. Der zweite Wicklungsabschnitt 401b ist mit einem Spannungseingang der Zündvorrichtung 407 verbunden und dient zur Spannungsversorgung der Zündvorrichtung 407. Der Mittenabgriff zwischen den beiden Wicklungsabschnitten 401a, 401b ist an den Knotenpunkt zwischen dem Schalter 402, der Kathode der Diode 403 und dem Kondensator 404 angeschlossen. Der andere Spannungseingang der Zündvorrichtung ist mit dem Massepotential bzw. mit dem negativen Gleichspannungsanschluss der Gleichspannungsquelle 400 verbunden. Die Anordnung und die Funktion der Bauteile 400, 402, 403, 404, 405, 406, 406a, 406b und LP4 sind identisch zu der Anordnung und Funktion der entsprechenden Bauteile 300, 302, 303, 304, 305, 306, 306a, 306b und LP3 des dritten Ausführungsbeispiels.

Das in Figur 5 abgebildete fünfte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist weitgehend identisch zu dem vierten Ausführungsbeispiel. Es zeigt im Unterschied zu dem vierten Ausführungsbeispiel Details der Impulszündvorrichtung und besitzt einen zusätzlichen Kondensator 511, der parallel zu dem Gleichspannungseingang des Klasse-E-Konverters geschaltet ist. Der Kondensator 511 verhindert im wesentlichen, dass von dem Spartransformator 501 ein Strom in die Gleichspannungsquelle 500 zurückgespeist wird. Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP5 bilden die Primärwicklung 501a des Spartransformators 501 und die Kapazität 504 einen Serienresonanzkreis, da der Stromkreis parallel zu der Kapazität 504, bestehend aus den Komponenten 505, 506b und LP5, aufgrund der nicht-leitenden Entladungsstrecke der Hochdruckentladungslampe LP5 unterbrochen ist. Da die Spannung an der Kapazität 504 während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP5 in der Sperrphase des Schalters 502 größer als die Versorgungsspannung werden kann, kann es zeitweise zu einer Umkehrung des Stromflusses in der Induktivität 501a kommen. Die Impulszündvorrichtung besteht aus dem Zündtransformator 506, dem Zündkondensator 507, der Funkenstrecke 508, dem Widerstand 509 und der Gleichrichterdiode 510. Der Spannungseingang der Impulszündvorrichtung ist über die Wicklung 501b des Spartransformators mit dem Knotenpunkt zwischen dem Schalter 502, der Diode 503 und dem Kondensator 504 verbunden. Der andere Spannungseingang, das heißt, der Knotenpunkt zwischen dem Zündkondensator und der Primärwicklung 506a des Zündtransformators 506 ist mit

dem Massepotential bzw. mit dem negativen Gleichspannungsanschluss der Gleichspannungsquelle 500 verbunden. Die Anordnung und Funktion der Bauteile 500, 501, 501a, 501b, 502, 503, 504, 505, 506, 506a, 506b und LP5 stimmt mit der Anordnung und Funktion der entsprechenden Bauteile 400, 401, 401a, 401b, 402, 403, 404, 405, 406, 406a, 406b und LP4 des vierten Ausführungsbeispiels überein. Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP5 wird der Zündkondensator 507 mittels der Gleichspannungsquelle und des Spartransformators 501 über die Diode 510 und den Widerstand 509 auf die Durchbruchsspannung der Funkenstrecke 508 aufgeladen. Beim Erreichen der Durchbruchsspannung entlädt sich der Kondensator 507 stoßweise über die Funkenstrecke 508, wobei der Entladestrom durch die Primärwicklung 506a des Zündtransformators 506 fließt. Aufgrund des hohen Übersetzungsverhältnisses werden in der Sekundärwicklung 506b Hochspannungsimpulse für die mit der Sekundärwicklung 506b verbundene Elektrode der Hochdruckentladungslampe LP5 induziert, die zum Zünden der Gasentladung in der Lampe LP5 führen. Während des stationären Lampenbetriebs wird der Zündkondensator 507 nicht ausreichend aufgeladen, um einen Durchbruch der Funkenstrecke 508 auszulösen.

Das in Figur 6 abgebildete sechste Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist identisch zu dem fünften Ausführungsbeispiel. Insbesondere sind die Anordnung und Funktion der Bauteile 600, 601, 601a, 601b, 602, 603, 604, 605, 606, 606a, 606b, 607, 608, 609, 610, 611 und LP6 identisch zu den entsprechenden Bauteilen 500, 501, 501a, 501b, 502, 503, 504, 505, 506, 506a, 506b, 507, 508, 509, 510, 511 und LP5 des fünften Ausführungsbeispiels. Das sechste Ausführungsbeispiel zeigt im Unterschied zu dem fünften Ausführungsbeispiel Details des steuerbaren Schalters 602. Der steuerbare Schalter 602 ist hier als Feldeffekttransistor, insbesondere als MOSFET ausgebildet. Die antiparallel zu seiner Schaltstrecke geschaltete Diode 603 ist hier bereits als Body-Diode in dem MOSFET 602 integriert. Der MOSFET 602 besitzt eine parasitäre Kapazität 612, die sich durch den inneren Aufbau des MOSFETs parallel zur Drain-Source-Strecke ergibt und die bei ausreichend hohen Schaltfrequenzen des Feldeffekttransistors 602, das heißt, beim Betrieb der Hochdruckentladungslampe LP6 mit einem Wechselstrom ausreichend hoher Fre-

quenz, anstelle des Kondensators 604 verwendet werden kann bzw. bei der Dimensionierung des Kondensators 604 berücksichtigt werden muss. Der Gate-Anschluss des Feldeffekttransistors 602 ist mit einer Steuerschaltung 613 verbunden, die zur Steuerung der Schaltvorgänge des Transistors 602 dient. In der Tabelle 1 ist die Dimensionierung der einzelnen Bauteile der Schaltungsanordnung gemäß des sechsten Ausführungsbeispiels der Erfindung angegeben.

10 Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP6 wird von der Gleichspannungsquelle 600 an dem Spannungseingang des Klasse-E-Konverters eine Gleichspannung von 120 Volt bereitgestellt. Der Feldeffekttransistor 602 wird von der Steuerschaltung 613 mit einer Schaltfrequenz von ca. 87 Kilohertz und einem Tastverhältnis von 0,5 geschaltet. Mittels der Gleichspannungsquelle 600 und des Spartransformators 601 wird über die Diode 610 und den Widerstand 609 der Zündkondensator 607 auf die Durchbruchsspannung der Funkenstrecke 608 aufgeladen. Beim Erreichen der Durchbruchsspannung der Funkenstrecke 608 wird der Zündkondensator 607 stoßweise über die Primärwicklung 606a des Zündtransformators 606 entladen und in seiner Sekundärwicklung 606b werden Hochspannungsimpulse von bis 40000 Volt zum Zünden der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe induziert. Unmittelbar nach der Zündung der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe wird die Gasentladung hauptsächlich von dem Xenon in der ionisierbaren Füllung getragen. Während des Übergangs von der Zündphase in den stationären Lampenbetriebszustand verdampfen die weiteren Füllungskomponenten, die Metallhalogenide, und tragen zur Entladung und zur Lichtemission bei. Während dieser Zeit wird die von der Gleichspannungsquelle 600 bereitgestellte Versorgungsspannung von 120 Volt kontinuierlich auf einen Wert von 70 Volt reduziert, um so die gewünschte Lampenleistung einzustellen. Die elektrischen Eigenschaften, insbesondere die Impedanz der Hochdruckentladungslampe LP6, ändern sich während des Übergangs von der Zündphase in den stationären Betriebszustand erheblich. Während der Übergangsphase wird die Lampe LP6 mit erhöhter Leistung betrieben, um einen möglichst schnellen Übergang in den stationären Lampenbetrieb zu gewährleisten. Nach dem Einsetzen des Lampenstroms wird die Schaltfrequenz des Feldeffekttransistors 602 von ca. 87 Kilohertz auf ca. 360 Kilohertz erhöht. Nach erfolgter

Zündung der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe LP6 erreicht der Spannungsabfall an dem Zündkondensator 607 nicht mehr die Durchbruchsspannung der Funkenstrecke 608. Die Sekundärwicklung 606 des Zündtransformators 606b dient nach Beendigung der Zündphase als Resonanzinduktivität 606b des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters. Bei der Hochdruckentladungslampe LP6 handelt es sich um eine quecksilberfreie Metallhalogenid-Hochdruckentladungslampe mit einer elektrischen Leistungsaufnahme von 30 Watt und einer Brennspannung von ca. 30 Volt. Sie dient als Kraftfahrzeugscheinwerferlampe. Die Gleichspannungsquelle 600 beinhaltet einen Hochsetzsteller, dessen Spannungsausgang den Gleichspannungsausgang der Gleichspannungsquelle 600 bildet und der die Versorgungsspannung für den Klasse-E-Konverter aus der Bordnetzspannung des Kraftfahrzeugs generiert.

Das in Figur 7 abgebildete siebte Ausführungsbeispiel ist weitgehend identisch zu dem in Figur 2 dargestellten zweiten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes. Im Unterschied zu dem zweiten Ausführungsbeispiel zeigt das siebte Ausführungsbeispiel auch Details der Impulszündvorrichtung und des steuerbaren Schalters. Der steuerbare Schalter ist hier als Feldeffekttransistor, insbesondere als MOSFET 1602 ausgebildet. Er wird von der Steuerschaltung 1613 gesteuert. Außerdem ist die Induktivität am positiven Gleichspannungsanschluss der Gleichspannungsquelle 1600 als Spartransformator 1601 ausgebildet und parallel zu dem Gleichspannungsausgang der Gleichspannungsquelle 1600 ein Kondensator 1661 vergleichsweise hoher Kapazität geschaltet, um Rückwirkungen des Spartransformators 1601 auf die Gleichspannungsquelle 1600 zu verhindern, wie bereits beim fünften Ausführungsbeispiel anhand des entsprechenden Bauteils 511 und der Figur 5 erläutert wurde. Der erste Wicklungsabschnitt 1601a des Spartransformators 1601 ist in den Klasse-E-Konverter geschaltet, so dass der positive Gleichspannungsanschluss der Gleichspannungsquelle 1600 über den ersten Wicklungsabschnitt 1601a und die Drain-Source-Strecke des Feldeffekttransistors 1602 mit dem negativen Gleichspannungsanschluss der Gleichspannungsquelle 1600 bzw. mit dem Massepotential verbunden ist. Der zweite Wicklungsabschnitt 1602b des Spartransformators 1602 dient zur Spannungsversorgung der Impulszündvorrichtung. Antiparallel zur Schaltstrecke,



das heißt, zur Drain-Source-Strecke, des Transistors 1602 ist eine Diode 1603 geschaltet, die hier als sogenannte Body-Diode des Transistors 1602 in den Transistor 1602 integriert ist. Parallel zur Diode 1603 und auch zur Drain-Source-Strecke des Transistors 1602 ist ein Kondensator 1604 geschaltet, bei dessen Dimensionierung  
5 die parasitäre Kapazität 1612 des Transistors 1602 berücksichtigt wird, wie bereits beim sechsten Ausführungsbeispiel anhand des Transistors 602 und der Figur 6 erläutert wurde. Der aus der Kapazität 1605 und der Primärwicklung 1614a des Transformators 1614 bestehende Parallelkreis zu dem Kondensator 1604 ist als Serienresonanzkreis ausgebildet. Die Sekundärwicklung 1614b des Transformators 1614  
10 versorgt den daran angeschlossen, aus der Sekundärwicklung 1606b des Zündtransformators 1606 und der Hochdruckentladungslampe LP16, bzw. den elektrischen Anschlüssen der Hochdruckentladungslampe, bestehenden Stromkreis mit Energie. Zur Spannungsversorgung der Impulszündvorrichtung ist der zweite Wicklungsabschnitt 1601b des Spartransformators 1601 an den Knotenpunkt zwischen Source-Anschluss  
15 des Transistors 1602, der Kathode der Diode 1603 und dem Kondensator 1604 sowie der Kapazität 1605 angeschlossen. Mittels des Wicklungsabschnitts 1601b wird der Zündkondensator 1607 über die Diode 1610 und den Widerstand 1609 auf die Durchbruchsspannung der parallel zum Zündkondensator 1607 geschalteten Funkenstrecke 1608 aufgeladen. Beim Erreichen der Durchbruchsspannung der Funkenstrecke 1608 entlädt sich der Zündkondensator 1607 stoßweise über die Primärwicklung 1606a des Zündtransformators 1606. Dadurch werden in der Sekundärwicklung 1606b des Zündtransformators 1606 Hochspannungsimpulse zum der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe induziert. Der Knotenpunkt zwischen dem Zündkondensator 1607 und der Primärwicklung 1606a des Zündtransformators  
20 1606 ist mit dem Massepotential bzw. mit dem negativen Anschluss der Gleichspannungsquelle 1600 verbunden. Der Transformator 1614 dient zur Impedanzanpassung der Hochdruckentladungslampe LP16 an den Klasse-E-Konverter und zur galvanischen Trennung von dem Klasse-E-Konverter. Der Transformator 1614 kann auch als Spartransformator ausgebildet sein, wenn eine galvanische Trennung nicht erforderlich ist. Eine Dimensionierung der verwendeten Bauteile ist in Tabelle 2 angegeben.  
25  
30

Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP16 wird von der Gleichspannungsquelle 1600 an dem Spannungseingang des Klasse-E-Konverters eine Gleichspannung von 80 Volt bereitgestellt. Der Feldeffekttransistor 1602 wird von der Steuerschaltung 1613 mit einer Schaltfrequenz von ca. 59 Kilohertz und einem  
5 Tastverhältnis von 0,5 geschaltet. Mittels der Gleichspannungsquelle 1600 und des Spartransformators 1601 wird über die Diode 1610 und den Widerstand 1609 der Zündkondensator 1607 auf die Durchbruchsspannung der Funkenstrecke 1608 aufgeladen. Beim Erreichen der Durchbruchsspannung der Funkenstrecke 1608 wird der Zündkondensator 1607 stoßweise über die Primärwicklung 1606a des Zündtransformators 1606 entladen und in seiner Sekundärwicklung 1606b werden Hochspannungsimpulse von bis 40000 Volt zum Zünden der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe induziert. Unmittelbar nach der Zündung der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe LP16 wird die Gasentladung hauptsächlich von dem Xenon in der ionisierbaren Füllung getragen. Während des Übergangs von der Zündphase in den stationären Lampenbetriebszustand verdampfen die weiteren Füllungskomponenten, die Metallhalogenide, und tragen zur Entladung und zur Lichtemission bei.  
15 Während dieser Zeit wird die von der Gleichspannungsquelle 1600 bereitgestellte Versorgungsspannung von 80 Volt kontinuierlich auf einen Wert von 40 Volt reduziert, um so die gewünschte Lampenleistung einzustellen. Die elektrischen Eigenschaften, insbesondere die Impedanz der Hochdruckentladungslampe LP16, ändern sich während des Übergangs von der Zündphase in den stationären Betriebszustand erheblich. Während der Übergangsphase wird die Lampe LP16 mit erhöhter Leistung betrieben, um einen möglichst schnellen Übergang in den stationären Lampenbetrieb zu gewährleisten. Nachdem der Lampenstrom eingesetzt hat, wird die Schaltfrequenz  
20 des Feldeffekttransistors 1602 von ca. 59 Kilohertz auf ca. 215 Kilohertz erhöht. Nach erfolgter Zündung der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe LP16 erreicht der Spannungsabfall an dem Zündkondensator 1607 nicht mehr die Durchbruchsspannung der Funkenstrecke 1608.

Bei der Hochdruckentladungslampe LP16 handelt es sich um eine quecksilberfreie  
30 Metallhalogenid-Hochdruckentladungslampe mit einer elektrischen Leistungsaufnahme von 30 Watt und einer Brennspannung von ca. 30 Volt, wie bereits bei dem

sechsten Ausführungsbeispiel beschrieben wurde. Sie dient als Kraftfahrzeugscheinwerferlampe. Die Gleichspannungsquelle 1600 beinhaltet einen Hochsetzsteller, dessen Spannungsausgang den Gleichspannungsausgang der Gleichspannungsquelle 1600 bildet und der die Versorgungsspannung für den Klasse-E-Konverter aus der Bordnetzspannung des Kraftfahrzeugs generiert. Auf den Hochsetzsteller kann allerdings verzichtet, wenn die Bordnetzspannung ausreichend hoch ist oder wenn der Transformator 1614 geeignet dimensioniert ist.

In der Figur 8 ist als Kurve A der zeitliche Verlauf der während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP6 von der Steuerschaltung 1613 an das Gate des Transistors 1602 gelieferten, im wesentlichen rechteckförmigen Steuerspannung und als Kurve B der zeitliche Verlauf des Spannungsabfalls über der Schaltstrecke, das heißt, der Drain-Source-Strecke des Transistors 1602, dargestellt. Das Nullniveau der beiden Spannungsverläufe ist jeweils durch die Ziffer 1 bzw. 2 mit einem daran anschließenden horizontalen Pfeil gekennzeichnet. Die Spannung über der Drain-Source-Strecke erreicht einen maximalen Wert von 216 Volt. Der Transistor 1602 wird nur ein- bzw. ausgeschaltet während der Spannungsabfall über der Drain-Source-Strecke Null ist. Das Tastverhältnis der Steuerspannung für das Gate des Transistors 1602 ist 0,5. Die Schaltfrequenz des Transistors 1602 beträgt 59 Kilohertz.

Der stationäre Betriebszustand, nach abgeschlossener Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP6 ist in Figur 9 gezeigt. Die Kurve C zeigt den zeitlichen Verlauf des von der Steuerschaltung 1613 an das Gate des Transistors 1602 gelieferten, im wesentlichen rechteckförmigen Steuerspannung. Die Drain-Source-Strecke des Transistors 1602 ist elektrisch leitend während die Steuerspannung für das Gate des Transistors 1602 größer als Null Volt ist. Das Tastverhältnis der Steuerspannung ist 0,5. Die Schaltfrequenz des Transistors 1602 beträgt 215 Kilohertz. Die Kurve F zeigt den entsprechenden zeitlichen Spannungsverlauf über der Drain-Source-Strecke des Transistors 1602. Die Nullniveaus der beiden Spannungsverläufe sind durch die Ziffern 1 bzw. 2 mit einem nachgestellten horizontalen Pfeil gekennzeichnet. Die Kurve D zeigt den zeitlichen Verlauf des Lampenstroms und die Kurve E den zeitlichen

Verlauf der Spannung über der Entladungstrecke der Hochdruckentladungslampe LP6. Die Nullniveaus der Kurven D und E ist durch die Ziffer 3 mit dem nachgestellten horizontalen Pfeil gekennzeichnet. Der Lampenstrom D und die Lampenspannung E sind in sehr guter Näherung sinusförmig. Der Effektivwert des Lampenstroms beträgt 932 mA und der Effektivwert der Lampenspannung, das heißt, die Brennspannung der Lampe LP6, beträgt 32,7 Volt. Lampenstrom D und Lampenspannung E sind in Phase und ihre Frequenz beträgt 215 Kilohertz.

Weitere Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes sind in den Figuren 10 bis 17 dargestellt. Die Ausführungsbeispiele gemäß der Figuren 10 bis 16 unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die Zündvorrichtung.

Das in Figur 10 abgebildete achte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist weitgehend identisch zu dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Insbesondere entsprechen die Anordnung und Funktion der Bauteile 700, 701, 702, 703 und 704 des achten Ausführungsbeispiels der Anordnung und der Funktion der Bauteile 100, 101, 102, 103 und 104 des ersten Ausführungsbeispiels. Die Diode 703 ist als Zenerdiode ausgeführt, wobei deren Durchbruchsspannung kleiner als die maximal zulässige Spannung des Schalters 702 und größer als die während des Betriebes am Schalter 702 auftretende Spannung gewählt ist. Sie dient als Überspannungsschutz für den Schalter 702 während des Einsetzens des Lampenstroms. Parallel zu dem Kondensator 704 ist ein Serienresonanzkreis geschaltet, der aus der Kapazität 705 und der Induktivität 706 besteht. In den Serienresonanzkreis sind ferner die elektrischen Anschlüsse der Hochdruckentladungslampe LP7 geschaltet. Im Unterschied zu dem ersten Ausführungsbeispiel ist die Zündvorrichtung hier als Gleichspannungszündvorrichtung 707 und nicht als Impulszündvorrichtung ausgebildet. Der Gleichspannungsausgang der Zündvorrichtung 707 ist entweder unmittelbar parallel zu der Resonanzkapazität 705 oder parallel zur Serienschaltung eines oder beider Bauteile 701 und 706 mit der Resonanzkapazität 705 geschaltet, wie in Figur 10 mit gestrichelten Linien angedeutet ist. Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP7 wird an der Kapazität 705 bzw. über der vorgenannten Serienschaltung eine Gleichspannung überlagert, die zum Zünden der Gasentladung in der

Hochdruckentladungslampe LP7 führt. Nach erfolgter Zündung der Gasentladung wird die Zündvorrichtung deaktiviert.

Das in Figur 11 abgebildete neunte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist identisch zu dem achten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Insbesondere entsprechen die Anordnung und Funktion der Bauteile 800, 801, 802, 803, 804, 805 und 806 des neunten Ausführungsbeispiels der Anordnung und der Funktion der entsprechenden Bauteile 700, 701, 702, 703, 704, 705 und 706 des achten Ausführungsbeispiels. Das neunte Ausführungsbeispiel zeigt Details der Gleichspannungszündvorrichtung. Die Gleichspannungszündvorrichtung umfasst einen steuerbaren Schalter 809, einen Transformator 808 mit Primärwicklung 808a und gegensinnig gewickelter Sekundärwicklung 808b sowie eine Diode 807. Diese Zündvorrichtung wird von der Gleichspannungsquelle 800 gespeist. Die Primärwicklung 808a und die Schaltstrecke des Schalters 809 sind in einem an den Gleichspannungsanschlüssen der Gleichspannungsquelle 800 angeschlossenen Stromkreis geschaltet. Die seriell angeordnete Sekundärwicklung 808b und Diode 807 sind parallel zu der Resonanzkapazität 805 des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters geschaltet. Diese Zündvorrichtung arbeitet im wesentlichen nach dem Prinzip eines Sperrwandlers. Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP8 wird der Schalter 809 mit hoher Frequenz getaktet. In der Leitphase des Schalters 809 fließt durch die Primärwicklung 808a ein Strom, der zum Aufbau eines magnetischen Feldes in dem Transformator 808 führt. Aufgrund der Polung der Diode 807 und des Wicklungssinns der Sekundärwicklung 808b findet aber keine Energieübertragung von dem Transformator 808 auf die Resonanzkapazität 805 statt. In der Sperrphase des Schalters 809 wird die im Magnetfeld des Transformators 808 gespeicherte Energie an die Resonanzkapazität 805 abgegeben. Die in der Sekundärwicklung 808b induzierte Spannung lädt über die Diode 807 die Resonanzkapazität 805 auf die zum Zünden der Gasentladung in der Lampe erforderliche Zündspannung auf. Am Ende der Zündphase wird die Zündvorrichtung durch Abschalten des Schalters 809 deaktiviert.

Das in Figur 12 abgebildete zehnte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist identisch zu dem achten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Insbesondere entsprechen die Anordnung und Funktion der Bauteile 900, 901, 902, 903, 904, 905 und 906 des zehnten Ausführungsbeispiels der Anordnung und der Funktion der entsprechenden Bauteile 700, 701, 702, 703, 704, 705 und 706 des achten Ausführungsbeispiels. Das zehnte Ausführungsbeispiel zeigt Details der Gleichspannungszündvorrichtung. Die Gleichspannungszündvorrichtung umfasst einen steuerbaren Schalter 909, einen Transformator 908 mit Primärwicklung 908a und gleichsinnig gewickelter Sekundärwicklung 908b sowie eine Diode 907. Diese Zündvorrichtung wird von der Gleichspannungsquelle 900 gespeist. Die Primärwicklung 908a und die Schaltstrecke des Schalters 909 sind in einem an den Gleichspannungsanschlüssen der Gleichspannungsquelle 900 angeschlossenen Stromkreis geschaltet. Die seriell angeordnete Sekundärwicklung 908b und Diode 907 sind parallel zu der Serienschaltung der Resonanzkapazität 905 und der Resonanzinduktivität 906 des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters geschaltet. Diese Zündvorrichtung arbeitet während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP9 im wesentlichen nach dem Prinzip eines Durchflusswandlers. In der Leitphase des mit hoher Frequenz getakteten Schalters 909 fließt durch die Primärwicklung 908a des Transformators 908 ein Strom, der eine Induktionsspannung in der gleichsinnig gewickelten Sekundärwicklung 908b hervorruft. Die Induktionsspannung in der Sekundärwicklung 908b treibt über die Diode 907 und die Resonanzinduktivität 906 einen Ladestrom in die Resonanzkapazität 905. Die Resonanzinduktivität 906 dient während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP9 zur Begrenzung des Ladestroms der Resonanzkapazität 905. Die Resonanzkapazität 905 wird während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP9 auf die erforderliche Zündspannung aufgeladen.

Die Figuren 13 bis 16 zeigen Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes mit einer Resonanzzündvorrichtung.

Das in Figur 13 abgebildete elfte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist weitgehend identisch zu dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

dung. Insbesondere entsprechen die Anordnung und Funktion der Bauteile 1000, 1001, 1002, 1003 und 1004 des elften Ausführungsbeispiels der Anordnung und der Funktion der Bauteile 100, 101, 102, 103 und 104 des ersten Ausführungsbeispiels. Parallel zu dem Kondensator 1004 ist ein Serienresonanzkreis geschaltet, der aus den  
5 Kapazitäten 1005, 1007 und der Induktivität 1006 besteht. In den Serienresonanzkreis sind ferner die elektrischen Anschlüsse der Hochdruckentladungslampe LP10 geschaltet. Im Unterschied zu dem ersten Ausführungsbeispiel ist die Zündvorrichtung hier als Resonanzzündvorrichtung und nicht als Impulszündvorrichtung ausgebildet. Die Kapazität 1007 ist parallel zur Entladungsstrecke der Hochdruckentladungslampe LP10 geschaltet. Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP10 wird der Schalter 1002 mit einer Frequenz nahe der Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises 1005, 1006, 1007 des Klasse-E-Konverters getaktet, so  
10 dass an dem Kondensator 1007 die erforderliche Zündspannung für die Hochdruckentladungslampe LP10 durch Resonanzüberhöhung bereitgestellt wird. Nach erfolgter Zündung der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe LP10 wird der Schalter 1002 mit einer Frequenz oberhalb der Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises, bestehend aus den Komponenten 1005 und 1006, getaktet, da nach erfolgter Zündung der Gasentladung die Kapazität 1007 durch die Entladungsstrecke der Hochdruckentladungslampe LP10 kurzgeschlossen wird.  
15

20 Das in Figur 14 abgebildete zwölfte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist nahezu identisch zu dem elften Ausführungsbeispiel. Insbesondere entsprechen die Anordnung und Funktion der Bauteile 1100, 1101, 1102, 1103, 1104, 1105 und 1106 des zwölften Ausführungsbeispiels der Anordnung und der Funktion der entsprechenden Bauteile 1000, 1001, 1002, 1003, 1004, 1005 und 1006  
25 des elften Ausführungsbeispiels. Im Unterschied zu dem elften Ausführungsbeispiel besitzt der Serienresonanzkreis des Klasse-E-Konverters anstelle der zusätzlichen Kapazität 1007 eine zusätzlich Induktivität 1107, die parallel zur Entladungsstrecke der Hochdruckentladungslampe LP11 geschaltet ist. Während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP11 wird der Schalter 1102 mit Frequenz nahe der  
30 Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises 1105, 1106, 1107 des Klasse-E-Konverters getaktet, so dass an der Induktivität 1107 die erforderliche Zündspannung

für die Hochdruckentladungslampe LP11 durch Resonanzüberhöhung bereitgestellt wird. Nach erfolgter Zündung der Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe LP11 wird der Schalter 1102 mit einer Frequenz oberhalb der Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises, bestehend aus den Komponenten 1105 und 1106, getaktet.

5 Das in Figur 15 abgebildete dreizehnte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist fast identisch zu dem elften Ausführungsbeispiel. Insbesondere entsprechen die Anordnung und Funktion der Bauteile 1200, 1201, 1202, 1203, 1204, 1205, 1206 und 1207 des dreizehnten Ausführungsbeispiels der Anordnung und der Funktion der entsprechenden Bauteile 1000, 1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1006 und 1007 des elften Ausführungsbeispiels. Die Diode 1203 kann als Zenerdiode ausgebildet sein, um einen Überspannungsschutz für den Schalter 1202 zu gewährleisten. Im Unterschied zu dem elften Ausführungsbeispiel werden die Resonanzkreisbauteile 1206 und 1207 während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP12 von einer externen Wechselspannungsquelle 1208 und nicht von der Gleichspannungsquelle des Klasse-E-Konverters angeregt.

Das in Figur 16 abgebildete vierzehnte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes ist fast identisch zu dem zwölften Ausführungsbeispiel. Insbesondere entsprechen die Anordnung und Funktion der Bauteile 1300, 1301, 1302, 1303, 1304, 1305, 1306 und 1307 des vierzehnten Ausführungsbeispiels der Anordnung und der Funktion der entsprechenden Bauteile 1100, 1101, 1102, 1103, 1104, 1105, 1106 und 1107 des zwölften Ausführungsbeispiels. Im Unterschied zu dem zwölften Ausführungsbeispiel werden die Resonanzkreisbauteile 1306 und 1307 während der Zündphase der Hochdruckentladungslampe LP13 von einer externen Wechselspannungsquelle 1308 und nicht von der Gleichspannungsquelle des Klasse-E-Konverters angeregt.

In Figur 17 ist schematisch die Schaltskizze des Vorschaltgerätes gemäß des fünfzehnten Ausführungsbeispiels der Erfindung dargestellt. Dieses Vorschaltgerät besitzt einen Gleichspannungseingang mit zwei Gleichspannungsanschlüssen, die an den Spannungsausgang einer Gleichspannungsquelle 1400 angeschlossen sind. Der positive Gleichspannungsanschluss ist über eine die Primärwicklung 1401b eines



Transformators 1401 und die Schaltstrecke eines steuerbaren Schalters 1402 mit dem negativen Gleichspannungsanschluss bzw. mit dem schaltungsinternen Massepotential verbunden. Antiparallel zu der Schaltstrecke des Schalters 1402 ist eine Diode 1403 geschaltet. Parallel zu der Schaltstrecke des Schalters 1402 und auch parallel zu  
5 der Diode 1403 ist ein Kondensator 1404 geschaltet. In einem Parallelkreis zu dem Kondensator 1404 sind der Kondensator 1405 und die Induktivität 1406 angeordnet. Der Kondensator 1405 und die Induktivität 1406 bilden einen Serienresonanzkreis. In dem Serienresonanzkreis sind elektrische Anschlüsse für eine Hochdruckentladungs-  
10 lampen LP14 angeordnet, so dass bei angeschlossener Lampe LP14 ihre Entladungsstrecke seriell in dem Serienresonanzkreis geschaltet ist. Mittels der Sekundärwicklung 1401a wird eine Hilfsspannung generiert, die beispielsweise zur Spannungsversorgung der Steuerschaltung des Schalters 1402 oder zur Spannungsversorgung einer der oben beschriebenen Zündvorrichtungen verwendbar ist.

In Figur 18 ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Hochdruckentladungslampe  
15 gezeigt, die mit dem erfindungsgemäßen Vorschaltgerät betrieben wird. Bei dieser Lampe handelt es sich um eine quecksilberfreie Hochdruckentladungslampe mit einer Leistungsaufnahme von 25 Watt bis 35 Watt, die zum Einsatz in einem Kraftfahrzeugscheinwerfer vorgesehen ist. Das Entladungsgefäß 1 dieser Lampe weist einen rohrförmigen, zylindrischen mittleren Abschnitt 10, der aus Saphir besteht. Die  
20 offenen Enden des Abschnitts 10 sind jeweils durch ein keramisches Verschlussstück 11 bzw. 12 aus polykristallinem Aluminiumoxid verschlossen. Der Innendurchmesser des kreiszylindrischen Abschnitts 10 beträgt 1,5 Millimeter. In der Längsachse des Entladungsgefäßes 1 sind zwei Elektroden 2, 3 angeordnet, so dass ihre entladungsseitigen Enden in den Innenraum des mittleren, zylindrischen Abschnitts 10  
25 hineinragen und einen Abstand von 4,2 Millimeter besitzen. Die im Entladungsgefäß 1 eingeschlossene ionisierbare Füllung besteht aus Xenon mit einem Kaltfülldruck von 5000 Hektopascal und insgesamt 4 Milligramm der Jodide von Natrium, Dysprosium, Holmium, Thulium und Thallium. Die Elektroden 2 bzw. 3 sind jeweils über eine Stromzuführung 4 bzw. 5 mit einem elektrischen Anschluss 16 bzw. 17 des  
30 Lampensockels 15 verbunden. Das Entladungsgefäß 1 ist von einem lichtdurchlässigen Außenkolben 14 umgeben.

Aus dem Elektrodenabstand, dem Innendurchmesser des zylindrischen Abschnitts 10 und aus der Schallgeschwindigkeit im Entladungsmedium, die ca. 560 m/s beträgt, können die akustischen Resonanzfrequenzen der Hochdruckentladungslampe berechnet werden. Die Grundfrequenz der longitudinalen akustischen Resonanz liegt bei 70 Kilohertz. Die Grundfrequenz der azimuthalen akustischen Resonanz liegt bei 230 Kilohertz und die Grundfrequenz der radialen akustischen Resonanz liegt bei 476 Kilohertz. Das bedeutet, dass die Grundfrequenz der vorgenannten akustischen Resonanzen im Entladungsraum jeweils durch einen Wechselstrom mit einer Frequenz, die halb so groß ist, wie die der vorgenannten Resonanzen angeregt werden würde. Aufgrund des großen Aspektverhältnisses von 2,8 und des geringen Innendurchmessers liegen die akustischen Resonanzen weit auseinander. Zwischen den vorgenannten akustischen Resonanzen liegt jeweils ein resonanzfreier Frequenzbereich, in dem ein stabiler Lampenbetrieb ohne Frequenzmodulation des Lampenwechselstroms möglich ist. Die beim sechsten und siebten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Vorschaltgerätes offenbarten Schaltfrequenzen des MOSFET-Schalters und Wechselstromfrequenzen von 360 Kilohertz bzw. 215 Kilohertz liegen somit in einem resonanzfreien Frequenzbereich.

Die Figur 19 zeigt die in Figur 18 abgebildete Hochdruckentladungslampe mit einer im Lampensockel 15 angeordneten Schaltungsanordnung 18. Diese Schaltungsanordnung 18 umfasst entweder das komplette Vorschaltgerät der Hochdruckentladungslampe inklusive Zündvorrichtung oder aber nur die Zündvorrichtung der Hochdruckentladungslampe.

In Figur 20 ist der Aufbau eines Klasse-E-Konverters gemäß des Standes der Technik dargestellt. Der Aufbau und die Funktion dieses Klasse-E-Konverters sind auf den Seiten 271 bis 273 des Buches „Power electronics: converters, applications, and design“ der Autoren Ned Mohan, Tore M. Undeland und William P. Robbins, zweite Auflage 1995, John Wiley & Sons, Inc. beschrieben.

Dieser Klasse-E-Konverter besitzt einen Gleichspannungseingang mit zwei Gleichspannungsanschlüssen, die an den Spannungsausgang einer Gleichspannungsquelle 1500 angeschlossen sind. Der positive Gleichspannungsanschluss ist über eine In-

duktivität 1501 und die Schaltstrecke eines steuerbaren Schalters 1502 mit dem negativen Gleichspannungsanschluss bzw. mit dem schaltungsinternen Massepotential verbunden. Antiparallel zu der Schaltstrecke des Schalters 1502 ist eine Diode 1503 geschaltet. Parallel zu der Schaltstrecke des Schalters 1502 und auch parallel zu der  
5 Diode 1503 ist ein Kondensator 1504 geschaltet. In einem Parallelkreis zu dem Kondensator 1504 sind der Kondensator 1505 und die Induktivität 1506 angeordnet. Der Kondensator 1505 und die Induktivität 1506 sind so dimensioniert, dass der Parallelkreis ein Serienresonanzkreis ist. Die Last RL ist seriell in den Serienresonanzkreis geschaltet.

**Tabelle 1: Dimensionierung der Bauteile gemäß des sechsten Ausführungsbeispiels der Erfindung**

Bauelement	Dimensionierung
Spartransformator 601	ETD29, N67
Primärwicklung 601a	49 Windungen, 300 $\mu$ H
Sekundärwicklung 601b	131 Windungen
Feldeffekttransistor 602 mit integrierter Diode 603	IRF830, International Rectifier
Kapazität 604	4,7 nF, 600 V
Kapazität 605	1,5 nF, 1500 V
Transformator 606	150 $\mu$ H,
Primärwicklung 606a	1 Windung
Sekundärwicklung 606b	40 Windungen
Zündkondensator 607	70 nF, 1000 V
Funkenstrecke 608	800 V, EPCOS FS08X-1JM
Widerstand 609	110 kOhm, 0,5 W
Diode 610	1500 V, zwei US1M in Reihe, parallel zu jeder US1M zwei P6KE440 in Reihe
Kapazität 611	11 $\mu$ F, Elektrolytkondensator 10 $\mu$ F / 100 V parallel zu 1 $\mu$ F / 630 V Folienkondensator
Hochdruckentladungslampe LP6	30 Volt, 30 Watt (Nenndaten)

**Tabelle 2: Dimensionierung der Bauteile gemäß des siebten Ausführungsbeispiels der Erfindung**

Bauelement	Dimensionierung
Spartransformator 1601	ETD39, N67
Primärwicklung 1601a	39 Windungen, 300 $\mu$ H
Sekundärwicklung 1601b	190 Windungen
Feldeffekttransistor 1602 mit integrierter Diode 1603	IRF740, International Rectifier
Kapazität 1604	14,1 nF
Kapazität 1605	17,4 nF
Kapazität 1661	10 $\mu$ F, 100V Folienkondensator
Zündtransformator 1606	150 $\mu$ H,
Primärwicklung 1606a	1 Windung
Sekundärwicklung 1606b	40 Windungen
Zündkondensator 1607	70 nF, 1000 V
Funkenstrecke 1608	800 V, EPCOS FS08X-1JM
Widerstand 1609	110 kOhm, 0,5 W
Diode 1610	1500 V, zwei US1M in Reihe, parallel zu jeder US1M zwei P6KE440 in Reihe
Transformator 1614	ETD29, N67
Primärwicklung 1614a	26 Windungen
Sekundärwicklung 1614b	52 Windungen
Hochdruckentladungslampe LP16	30 Volt, 30 Watt (Nerndaten)

### Patentansprüche

1. Vorschaltgerät zum Betrieb mindestens einer Hochdruckentladungslampe, wobei das Vorschaltgerät einen Spannungswandler zum Erzeugen eines im wesentlichen sinusförmigen Wechselstroms umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungswandler als Klasse-E-Konverter ausgebildet ist.
- 5 2. Vorschaltgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungswandler folgende Merkmale aufweist:
  - Gleichspannungsanschlüsse zur Spannungsversorgung des Spannungswandlers,
  - 10 - eine Induktivität (101) und ein steuerbares Schaltmittel (102), wobei der positive Gleichspannungseingang (+) über die Induktivität (101) und die Schaltstrecke des Schaltmittels (102) mit dem negativen Gleichspannungseingang (-) bzw. mit dem Massepotential verbunden ist,
  - eine Diode (103), die antiparallel zu der Schaltstrecke des Schaltmittels (102) angeordnet ist,
  - 15 - eine Kapazität (104), die parallel zu der Diode (103) und parallel zu der Schaltstrecke des Schaltmittels (102) geschaltet ist,
  - einen Parallelkreis (105, 106b) zu der Kapazität (104), der als Serienresonanzkreis ausgebildet ist,
  - elektrische Anschlüsse für mindestens eine Hochdruckentladungslampe (LP1), die an den Serienresonanzkreis (105, 106b) gekoppelt sind.
  - 20
3. Vorschaltgerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorschaltgerät eine Zündvorrichtung (107) zum Zünden einer Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe (LP1) aufweist.
- 25 4. Vorschaltgerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung (107) zu ihrer Spannungsversorgung an eine Induktivität (301) des Klasse-E-Konverters gekoppelt ist.

5. Vorschaltgerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung als Impulszündvorrichtung (107) ausgebildet ist.
6. Vorschaltgerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung als Gleichspannungszündvorrichtung (707) ausgebildet ist.
- 5 7. Vorschaltgerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung als Resonanzzündvorrichtung ausgebildet ist.
8. Vorschaltgerät nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktivität als Spartransformator (401) ausgebildet ist.
9. Vorschaltgerät nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Sekundärwicklung (306b) des Zündtransformators (306) der Impulszündvorrichtung (307) als Bestandteil eines Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters ausgebildet ist.  
10
10. Vorschaltgerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleichspannungszündvorrichtung (707) an eine Kapazität (705) eines Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters gekoppelt ist.  
15
11. Vorschaltgerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Transformator (208) zur Impedanzanpassung der mindestens einen Hochdruckentladungslampe (LP2) vorgesehen ist.
12. Verfahren zum Betrieb mindestens einer Hochdruckentladungslampe mit einem im wesentlichen sinusförmigen Wechselstrom, dadurch gekennzeichnet, dass dieser Wechselstrom mittels eines Klasse-E-Konverters erzeugt wird.  
20
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz des im wesentlichen sinusförmigen Wechselstroms in einem Frequenzbereich liegt, der frei von akustischen Resonanzen der Hochdruckentladungslampe ist.  
25

14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochdruckentladungslampe mit einer elektrischen Leistung im Bereich von 25 Watt bis 35 Watt betrieben wird.
- 5 15. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Hochdruckentladungslampe nach erfolgter Zündung der Gasentladung, während des stationären Lampenbetriebs mit einer Brennspannung kleiner oder gleich 100 Volt betrieben wird.
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zum Zünden einer Gasentladung in der mindestens einen Hochdruckentladungslampe mittels einer Impulszündvorrichtung, die an eine Induktivität des Klasse-E-Konverters gekoppelt ist, Hochspannungs-Zündimpulse für die mindestens eine Hochdruckentladungslampe erzeugt werden.
- 15 17. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass während der Zündphase der mindestens einen Hochdruckentladungslampe das Schaltmittel des Klasse-E-Konverters derart geschaltet wird, dass an der Induktivität, die am Gleichspannungseingang des Klasse-E-Konverters angeordnet ist, eine resonanzüberhöhte Spannung bereitgestellt wird.
- 20 18. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsaufnahme der mindestens einen Hochdruckentladungslampe durch Verändern der Versorgungsspannung des Klasse-E-Konverters eingestellt wird.
- 25 19. Beleuchtungssystem mit einer Hochdruckentladungslampe und einem Vorschaltgerät zum Betrieb der Hochdruckentladungslampe, wobei die Hochdruckentladungslampe ein Entladungsgefäß mit darin angeordneten Elektroden (2, 3) und ionisierbarer Füllung zum Erzeugen einer Gasentladung besitzt,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Vorschaltgerät einen Spannungswandler aufweist, der als Klasse-E-Konverter ausgebildet ist.



20. Beleuchtungssystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktivität (106b) und die Kapazität (105) des Serienresonanzkreises des Klasse-E-Konverters derart auf den Abstand der Elektroden (2, 3) und die Geometrie des Entladungsgefäßes (1) abgestimmt sind, dass die Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises in einem Frequenzbereich liegt, der frei von akustischen Resonanzen der Hochdruckentladungslampe ist.
21. Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Entladungsgefäß (1) zumindest im Bereich der Gasentladung eine zylindrische Geometrie besitzt.
22. Beleuchtungssystem nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass Vorschaltgerät eine Zündvorrichtung zum Zünden einer Gasentladung in der Hochdruckentladungslampe aufweist.
23. Beleuchtungssystem nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung als Impulszündvorrichtung ausgebildet ist, wobei die Sekundärwicklung des Zündtransformators der Zündvorrichtung in dem Klasse-E-Konverter angeordnet ist.
24. Beleuchtungssystem nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung in dem Sockel der Hochdruckentladungslampe angeordnet ist.
25. Beleuchtungssystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorschaltgerät in dem Sockel der Hochdruckentladungslampe angeordnet ist.
26. Beleuchtungssystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Nennleistung der Hochdruckentladungslampe einen Wert aus dem Bereich von 25 Watt bis 35 Watt besitzt.
27. Beleuchtungssystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennspannung der Hochdruckentladungslampe kleiner oder gleich 100 Volt ist.

28. Beleuchtungssystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 19 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass das Beleuchtungssystem ein Kraftfahrzeugscheinwerfer ist.

### **Zusammenfassung**

**Vorschaltgerät für mindestens eine Hochdruckentladungslampe, Betriebsverfahren und Beleuchtungssystem für eine Hochdruckentladungslampe**

Die Erfindung betrifft ein Vorschaltgerät für eine Hochdruckentladungslampe, insbesondere für eine Kfz-Scheinwerferlampe oder eine Projektionslampe, das erfindungsgemäß als Klasse-E-Konverter ausgebildet ist.

Figur 1

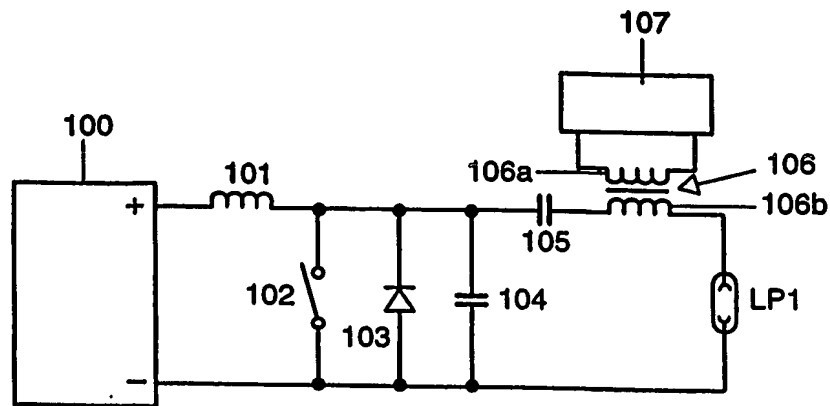


FIG. 1

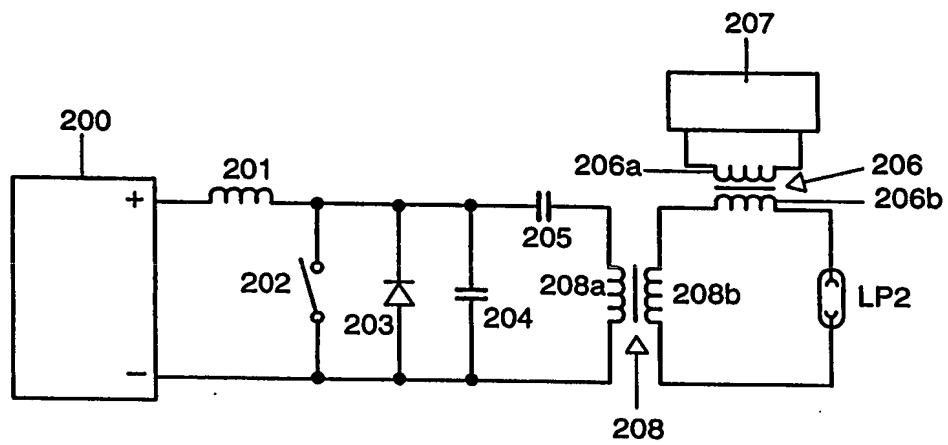


FIG. 2

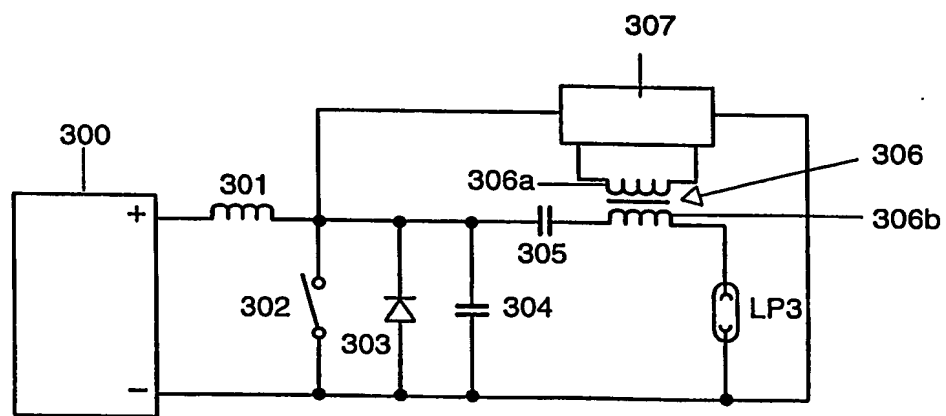
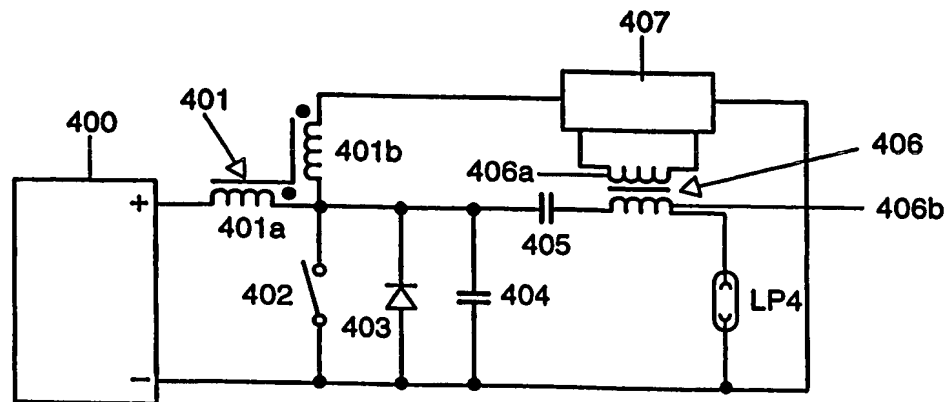
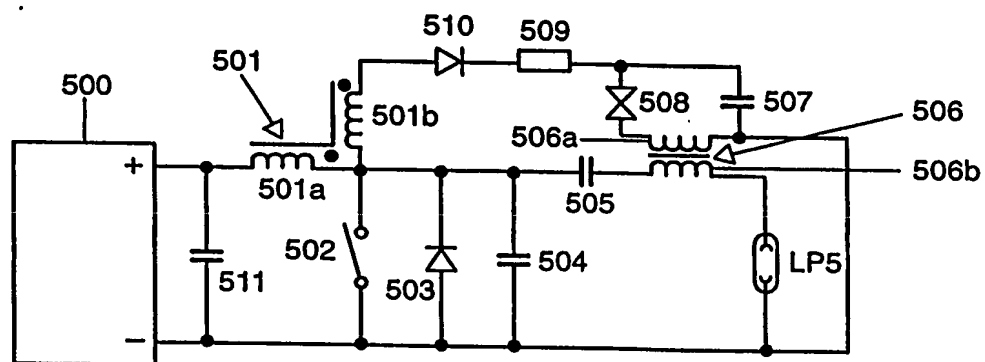


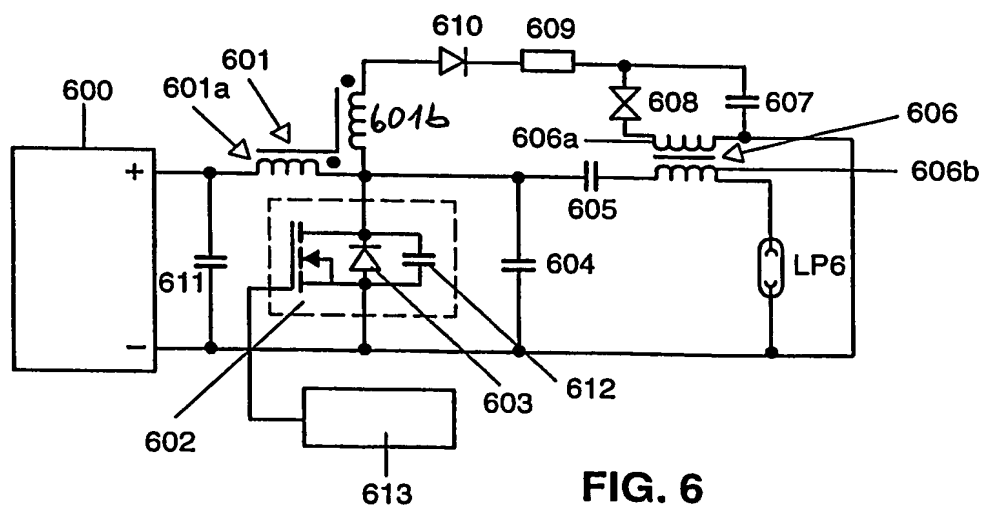
FIG. 3



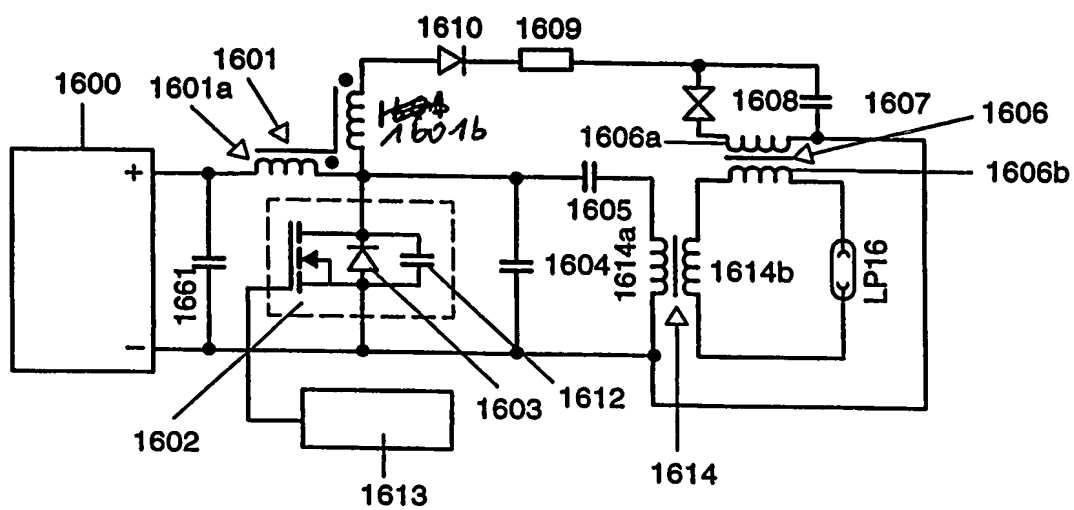
**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**



**FIG. 7**

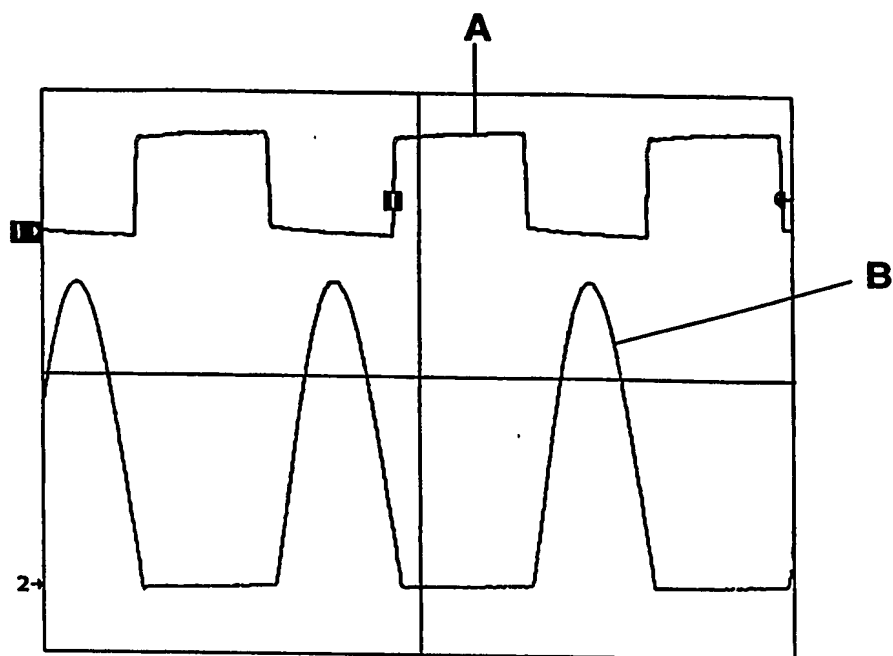


FIG. 8

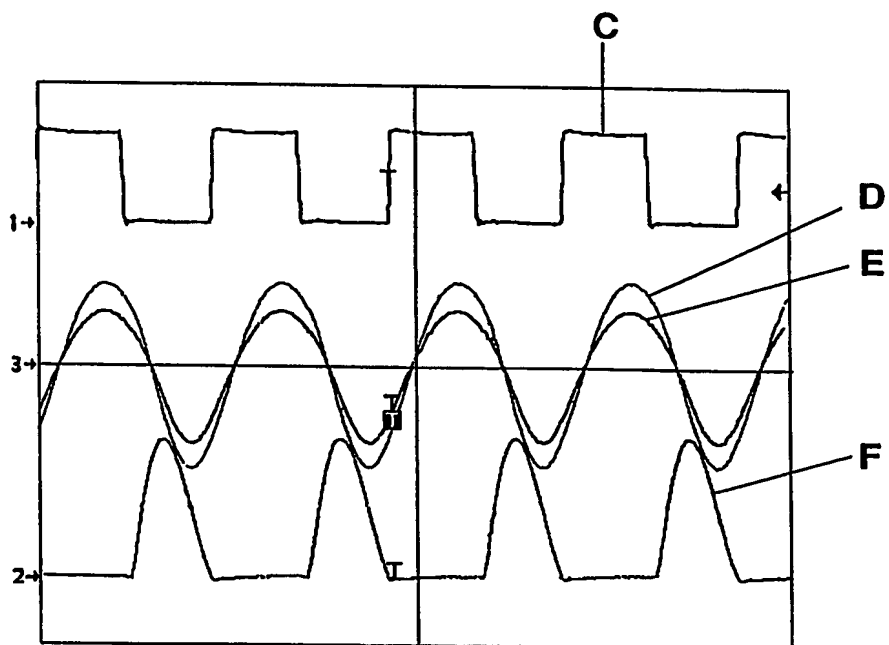


FIG. 9

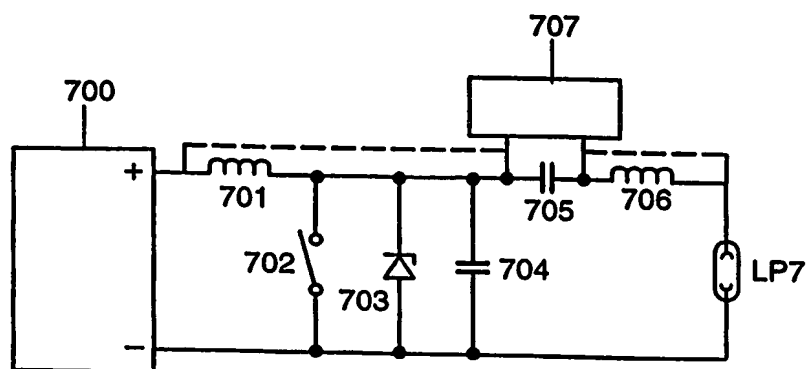


FIG. 10

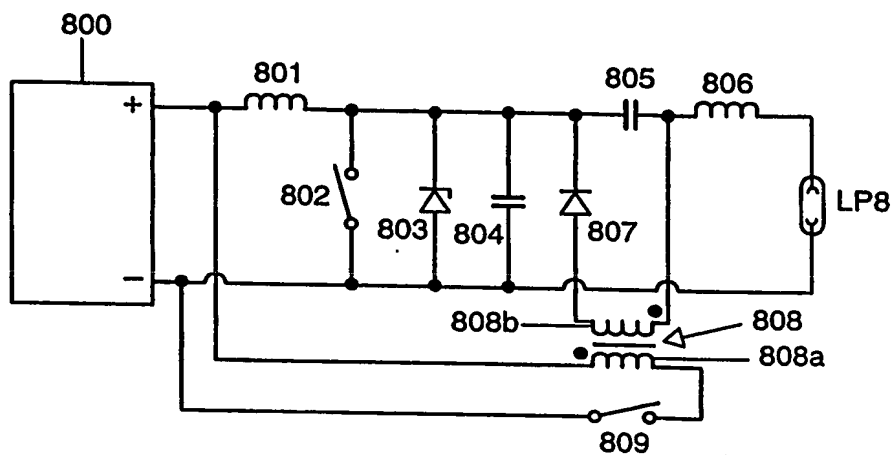


FIG. 11

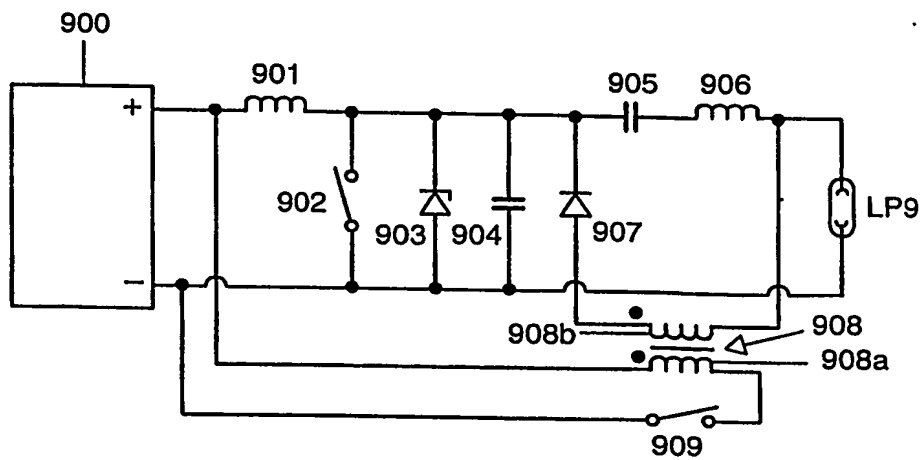


FIG. 12



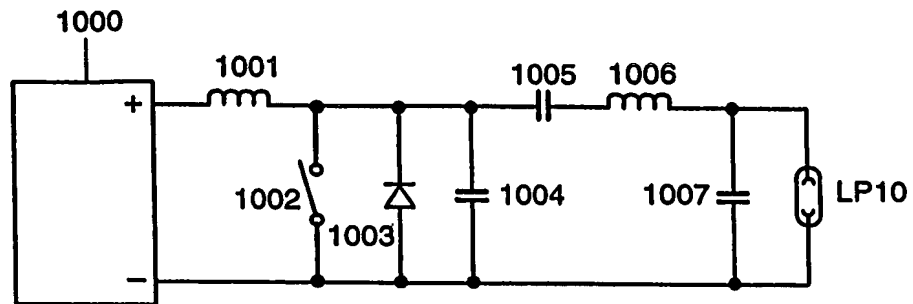


FIG. 13

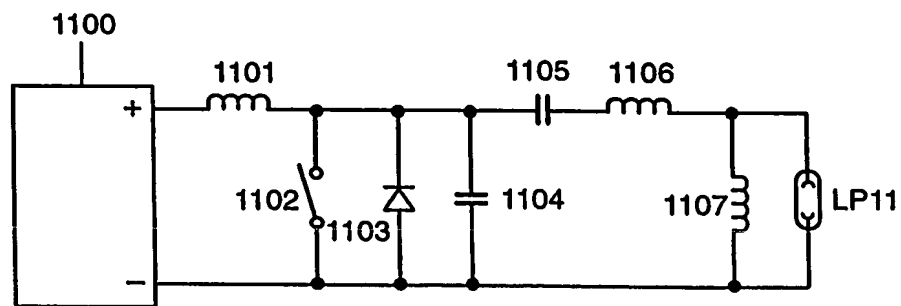


FIG. 14

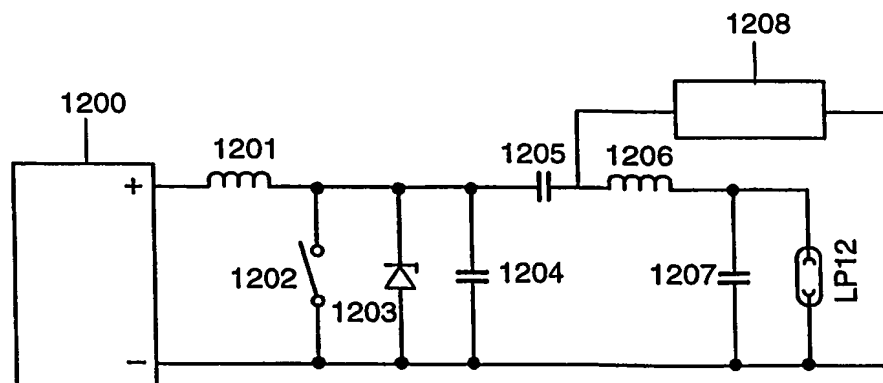


FIG. 15

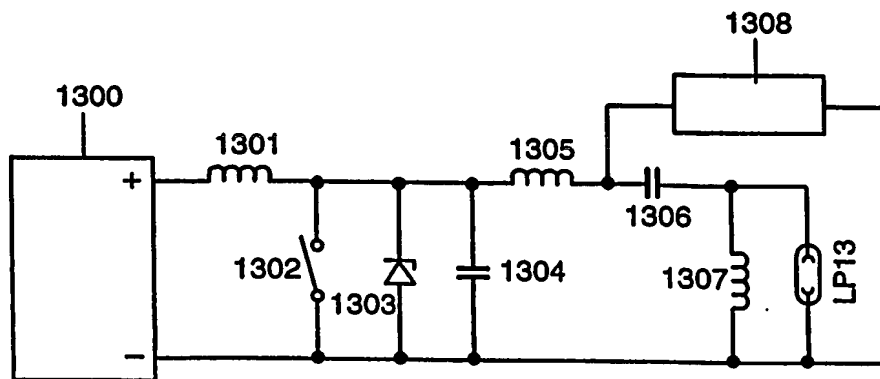


FIG. 16

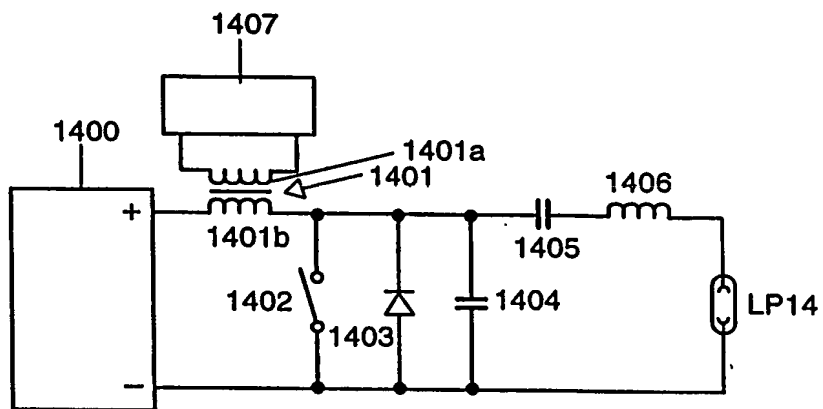


FIG. 17

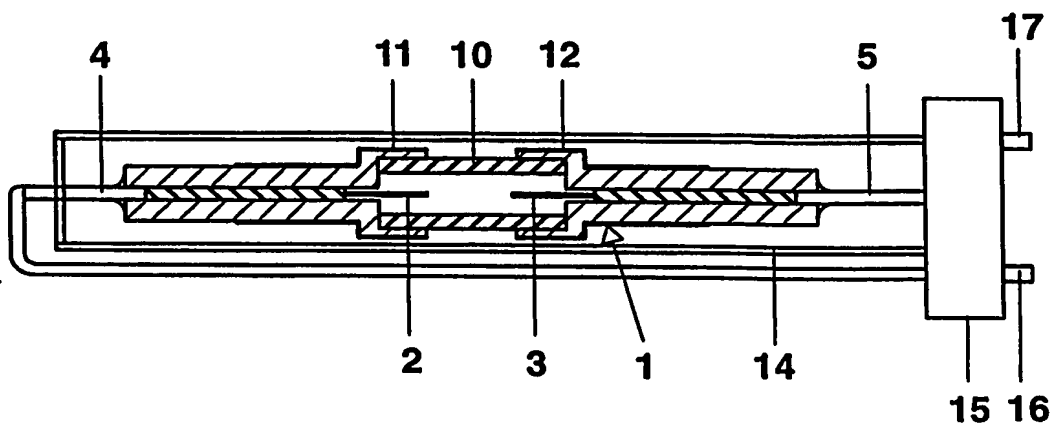


FIG. 18

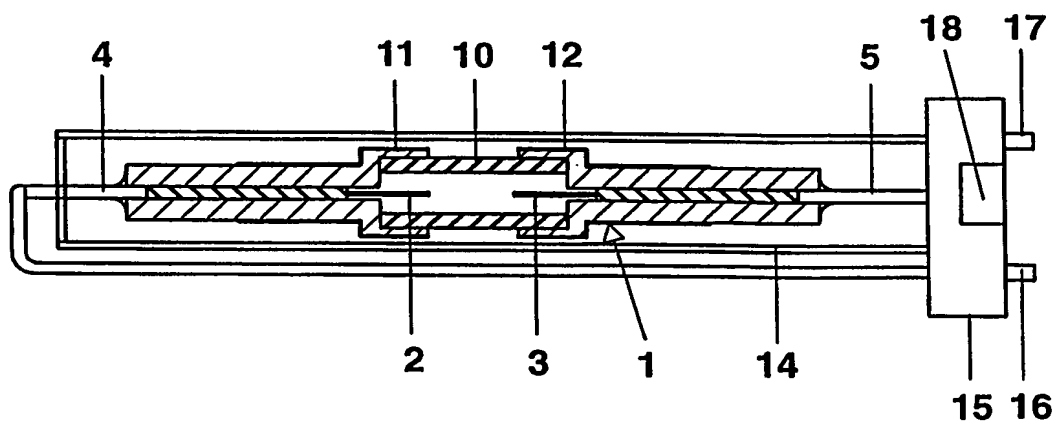
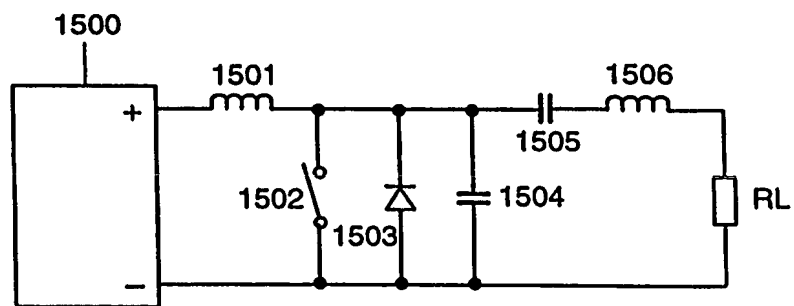


FIG. 19



**FIG. 20**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**